L'OR ET LE DIAMANT

AU

TRANSVAAL ET AU CAP

PAR

Jules GARNIER

AVEC LE CONCOURS DE

Pascal GARNIER, explorateur au Transvaal

EXTRAIT DES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

(Bulletin de mars 1896)

PARIS

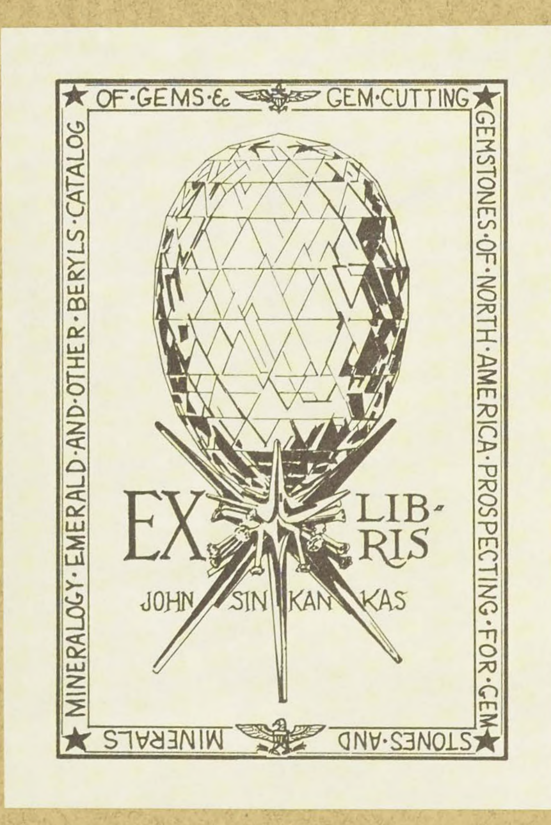
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15

MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1896

140


OF·GEMS·&c GEM·CUTTING
GEMSTONES·OF·NORTH·AMERICA·PROSPECTING·FOR·GEM
STONES·AND MINERALS
MINERALOGY·EMERALD·AND·OTHER·BERYLS·CATALOG
EX LIB-RIS
JOHN SIN KAN KAS

L'OR ET LE DIAMANT

AU

TRANSVAAL ET AU CAP

PAR

Jules GARNIER

AVEC LE CONCOURS DE

Pascal GARNIER, explorateur au Transvaal

EXTRAIT DES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE
(Bulletin de mars 1896)

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1896

L'OR ET LE DIAMANT

AU

TRANSVAAL ET AU CAP (1)

Les gisements de l'or et du diamant, découverts et exploités, dans le sud de l'Afrique, différaient tellement de ceux que j'avais visités en Australie et en Amérique, que je m'appliquai depuis plusieurs années à les étudier pour expliquer ces faits nouveaux. J'avais déjà, en 1891 (2), à la suite d'un voyage d'étude dans l'Amérique du nord, considéré que le cuivre natif du Lac Supérieur avait été précipité d'une solution de sulfate de cuivre sous l'influence de matières organiques en décomposition et que ce cuivre, à mesure qu'il se formait, venait se mélanger aux matières minérales que les fleuves charriaient dans un lac contenant la solution de cuivre; de là formation de l'espèce de conglomérat cuprifère que l'on exploite à présent sur une si vaste échelle dans cette contrée.

Depuis cette époque, d'autres voyages que je fis au Canada élargirent encore le cadre de mes idées sur la précipitation des métaux sous l'action de la *voie humide* naturelle; ainsi, la plupart des amas de pyrite métallifère que l'on rencontre dans le district de Sudbury sont surmontés d'un « chapeau » sablonneux, d'où la pyrite a disparu à peu près totalement; voici l'analyse de ces sables :

Silice.	53,00
Oxyde de fer	35,20
Oxyde de cuivre.	3,50
Oxyde de nickel.	1,40
Soufre	5,60
Or et platine	0,075

(1) Voir planche à la fin.

(2) *Mines de nickel, cuivre et platine de Sudbury (Canada)*, p. 6; Baudry, éditeur, Paris.

Or l'analyse totale du minerai massif sous-jacent donnant une proportion d'or et de platine infinitésimale avec 17 0/0 de cuivre, 17 0/0 de nickel et 25 0/0 de soufre, il est évident qu'il y a eu départ du soufre et des autres métaux à l'état de sulfates solubles. Ce phénomène, que nous constations ainsi sur des amas de dimensions relativement réduites, a donc pu donner naissance, autrefois, à des formations de sulfates de cuivre, nickel et fer d'une grande importance, et la précipitation facile du cuivre à l'état métallique a créé les mines de cuivre du Lac Supérieur, pendant que les oxydes de fer et de nickel, d'une réduction relativement plus difficile, se maintenaient plus longtemps à l'état de sulfates et nous ne pouvons aisément aujourd'hui suivre leur trace.

Quant à l'or et au platine, il est resté en place où nos mineurs l'exploitent. Nous citons ces faits qu'on pourrait dire pris sur le vif, car ils fixent nettement les idées sur l'une des manières dont la nature a manié et remanié les substances métalliques.

Si nous revenons au Transvaal, nous voyons que des réactions analogues à celles que nous avions signalées pour le cuivre s'y sont passées pour l'or, et cela sur une échelle infiniment plus importante, car depuis Cape-Town, au sud, jusqu'au nord du Transvaal, c'est-à-dire sur une distance d'environ 2 000 *km*, tout semble indiquer que l'on est en présence de terrains que l'on peut ainsi résumer :

A la base, le granit et le gneiss et, au-dessus, des assises que l'on peut considérer comme siluriennes, dévoniennes et carbonifères; enfin, le tout surmonté, à stratification discordante, par les dépôts du karoo de 350 *m* d'épaisseur, allant du permien à l'infra-lias.

Cette dernière formation du karoo, mieux déterminée comme âge que la première par les fossiles qu'on y rencontre, est formée de couches très voisines de l'horizontale et renferme d'innombrables dépôts de houille; elle repose sur les crêtes des couches plus anciennes, remplit les vallonnements et sillons que les eaux courantes y avaient faits et semble avoir achevé de combler les anciennes mers à une époque où déjà celles-ci contenaient, comme nous le verrons, des eaux dont la composition se rapprochait de celle de nos mers actuelles et, aussi, à un moment où les rivages s'étaient couverts de forêts dont les débris, charriés par de grands cours d'eaux de vitesse relativement très faible, ont pu se déposer en masse et former à la longue les ccuches de houille dont nous avons parlé. C'est ainsi que les

sondages traversant le karoo au sud du Witwatersrand ont pu recouper d'épaisses assises, uniformément composées d'amas de feuilles d'arbres plus ou moins transformées en carbone pur.

Quant aux couches reposant sur le granit, elles renferment des schistes ardoisiers alternant avec des quartzites avec bancs de minerais de fer oxydulé (1), rappelant d'une manière frappante les couches semblables que l'on trouve dans le silurien de Bretagne qui, comme on le sait, est très caractérisé par des grès ou quartzites ferrugineux, passant aussi à la magnétite très pure; or, d'après nos études dans l'ouest de la France, nous avons constaté que cette magnétite se présentait parfois sous la forme d'amas de cristaux accolés qui nous semblèrent aussi être l'effet d'une précipitation lente de l'oxyde de fer.

Nous ne serions point surpris si, dans l'avenir, on trouvait de l'or dans ces formations anciennes et sédimentaires de Bretagne.

L'or est le métal donnant le plus vif intérêt aux couches anciennes de l'Afrique du sud, car il s'y rencontre partout en plus ou moins grande quantité, et le géologue Bain l'y avait signalé, il y a longtemps, bien au sud de la rivière Vaal, dans des conglomérats, mais dans une proportion ne permettant pas une exploitation. Ce ne fut donc pas une surprise pour les géologues, lorsqu'en 1888 environ le Boër Struben découvrit et commença l'exploitation des fameux conglomérats aurifères du Witwatersrand; depuis cette époque la littérature géologique de cette contrée s'est prodigieusement enrichie : en Allemagne, l'ingénieur Schmeisser; en Angleterre, de nombreux ouvrages; en France, M. de Launay et, enfin, à Johannesburg, les publications de la Société géologique et de son distingué Secrétaire Général, M. David Draper, ont déjà élucidé bien des questions.

Notre but n'est donc pas de revenir sur ce qu'ont déjà publié nos savants contemporains, mais bien simplement d'exposer de nouveau ici, avec plus de détails, nos idées personnelles sur la façon dont se sont déposées les couches et sur la genèse de l'or dans ces couches, aussi bien que celle des gîtes de diamants, si extraordinaires, de cette contrée. Nous dirons toutefois que la série des couches aurifères inférieures ne renferme pas de calcaire, mais qu'elle est surmontée d'un banc puissant de dolomite, privé lui-même de fossiles, et que la découverte de cet important horizon est dû à M. David Draper. Toutefois, la dolo-

(1) M. D. Draper a signalé un banc de magnétite et d'ardoises, près de Heidelberg (Transvaal).

mite commence à jouer un rôle important aux niveaux géologiques supérieurs de l'âge aurifère; ce rôle est bien constaté au nord du bassin du *Rand*, à Malmani et à Lydenburg : nous en avons constaté un premier indice au sud du Rand, à Klerksdorp, et nous en parlerons plus loin.

Si l'on se reporte par la pensée aux époques reculées qui précédèrent les précieux dépôts des couches siluriennes, nous entrevoyons à la place de ce grand plateau presque horizontal et très élevé d'altitude, qui forme le sud de l'Afrique, une vaste étendue d'eau, formée par un seul océan ou par une série de lacs immenses, plus ou moins importants, reliés entre eux par des cours d'eaux à la façon des lacs qui existent encore dans le centre de l'Afrique, ou mieux de ceux qui composent une grande partie du Canada. A ces époques de grandes pluies, cette vaste étendue d'eau était continuellement alimentée par des torrents nombreux et d'un très grand volume descendant de hauts massifs montagneux. La place exacte qu'occupaient ces montagnes semble difficile à déterminer, mais, selon toutes probabilités, elles formaient comme un immense amphithéâtre autour des bassins aurifères actuels, à peine ouvert vers le sud, de sorte que les cours d'eau rayonnaient dans des directions très variées autour des bassins qu'ils finirent par combler. Quant à la nature des roches qui constituaient ces montagnes, on peut s'en rendre aisément compte par celle de leurs débris, étalés maintenant en couches successives qui ont été autrefois soumises à des phénomènes dont nous parlerons.

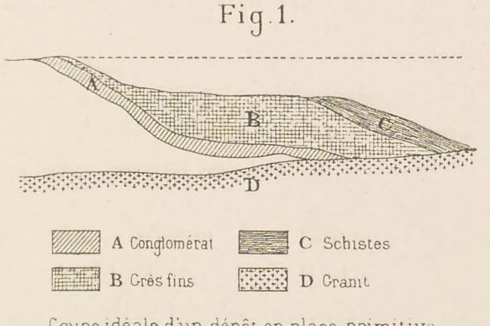
Suivant l'hypothèse généralement admise, les géologues pensent qu'au Transvaal les couches anciennes et aurifères, que nous voyons aujourd'hui affleurer suivant des angles variables, ont dû autrefois se déposer horizontalement et que le redressement actuel que nous constatons est dû à la poussée de roches éruptives qui émergèrent autrefois de la masse centrale fluide de la terre. Une autre opinion veut que ces mêmes assises horizontales se soient déprimées suivant d'immenses surfaces par suite d'un phénomène encore inconnu, de façon à former des cuvettes ou fonds de bateaux.

Cette dernière opinion, qui est soutenue par M. David Draper, expliquerait, il est vrai, la forme circulaire du bassin du Witwatersrand. Cette opinion du savant géologue concorde, par certains points, avec la thèse que nous soutiendrons plus loin; aussi prions-nous nos auditeurs de vouloir bien en prendre bonne note.

Pour nous, en effet, les couches anciennes se sont déposées sur les parois des dépressions granitiques suivant une inclinaison plus ou moins forte et voisine de celles où nous les retrouvons aujourd'hui ; nous rentrerons ici dans quelques considérations pour appuyer notre manière de voir, qui n'est pas conforme à celle de la plupart de nos confrères en géologie ; nous rappellerons, tout d'abord, que nous ne sommes pas les premiers à admettre cette formation des couches sédimentaires suivant une certaine pente. En effet, en 1836, M. le marquis des Roys, géologue éminent, fit à la Société géologique de France une communication très remarquée, dans laquelle il soutint la thèse que les roches stratifiées avaient pu se déposer suivant l'angle où nous les trouvons aujourd'hui. Plus tard, vers 1850, M. Wegmann reprit et soutint l'opinion du marquis des Roys et, à peu près au même moment, M. Constant Prévost faisait des expériences établissant qu'un courant d'eau charriant des substances minérales les pouvait déposer en couches régulières le long d'une assez forte pente. Vers 1888, M. Fayol consacra beaucoup de temps à de nouvelles démonstrations expérimentales de la même théorie, établissant avec plus de netteté que ses devanciers la façon dont les couches pouvaient se déposer sur une pente inclinée. Il arrivait ainsi à des angles d'inclinaison voisins de 40°.

La figure que nous donnons ci-contre *(fig. 1)* est une coupe théorique ; elle montre comment les couches se déposent et se superposent suivant la grosseur de leurs éléments A, B et C. Nous nous permettrons d'observer, au sujet des coupes théoriques que nous donnons dans le cours de cette étude, qu'elles n'ont pour but que de fournir une démonstration plus rapide de nos idées, sans avoir, par ailleurs, la prétention d'être l'expression d'une vérité mathématique ou absolue ; ce n'est, bien entendu, qu'à la longue, avec le développement des travaux miniers et des sondages, que l'on arrivera à établir des coupes parfaites, lesquelles permettront d'affirmer ou d'infirmer les diverses opinions actuelles.

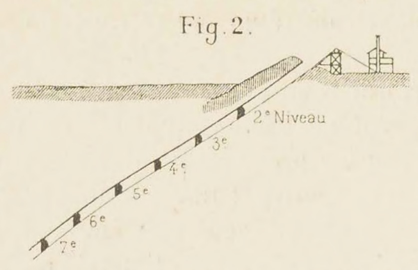
Fig. 1.



Coupe idéale d'un dépôt en place primitive

La figure 2 est la coupe d'une couche de grès aurifère, dont nous aurons l'occasion de reparler et dont l'inclinaison de 35° environ ne semble pas avoir été modifiée depuis l'époque du dépôt. La protubérance qui s'élève au-dessus du terrain, à l'entrée du puits, montre que le toit de la couche a échappé aux érosions; nous donnons aussi cette coupe, parce que sa disposition nous paraît bien conforme à ce que peut produire un cours d'eau de grande largeur, ayant une vitesse moyenne et se déposant dans une mer profonde.

Fig. 2.



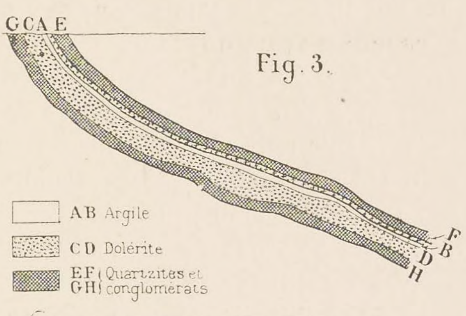
Section verticale du reef Buffelsdoorn Estate où le charbon aurifère est reconnu

Certaines couches se présentent à l'affleurement avec une inclinaison de 80°, diminuant rapidement avec la profondeur; c'est là un cas qui est assez fréquent, mais principalement dans les couches les plus anciennes des séries aurifères, qui sont les plus voisines des parois de granit de l'océan primitif; les partisans d'un dépôt horizontal primitif objectent à mon opinion ces fortes pentes.

Nous reconnaissons sans peine qu'une couche ne peut se déposer sur une pente quelque peu supérieure à 40° et que, par suite, toute inclinaison supérieure d'une couche sédimentaire provient d'un redressement après coup, mais il paraîtra bien être aussi vrai qu'un axiome que, si nos adversaires peuvent admettre que des forces mécaniques ont permis de faire passer des couches de l'horizontale à 80°, à plus forte raison pourra-t-on admettre avec nous que c'est bien aussi à la suite de mouvements, dont nous chercherons les causes, que les couches ont pu passer de l'angle de 40° à celui de 80° d'inclinaison.

Pour expliquer le redressement des couches à leur partie supérieure, nous montrerons, d'après une coupe de la mine New-Primrose (*fig. 3*), qu'une couche d'argile AB, grâce à sa plasticité, a pu, sous la pression des roches qui l'ont peu à peu recouverte, être refoulée, de bas en haut, vers des points de moindre résistance voisins de la surface, redressant fortement, de la sorte, la couche de minerai EF. Ce cas peut se présenter bien souvent dans un ensemble de couches où alternent les bancs schisteux fissiles et les couches de grès ou conglomérats non fissiles ; nous devons, en outre, considérer que les couches inférieures, à leur base,

ont eu plus tard à supporter toutes les séries des couches plus récentes qui sont venues se déposer sur elles, pressant de tout leur poids, de sorte que les anciennes portions de ces couches, étalées presque horizontalement au fond de la mer, se sont comme écrasées, pendant que leurs bancs argileux plastiques se laminaient de bas en haut sous ces puissantes pressions ; il y aurait donc eu : 1° un mouvement d'écrasement des couches de haut en bas ; 2° une intrusion de bas en haut des masses plastiques argileuses, et ces deux mouvements concordent à donner une plus grande pente aux couches non fissiles, c'est-à-dire aux conglomérats et aux grès, dans le voisinage de leurs parties supérieures.



Section de la mine New-Primrose

Mais ces forces mécaniques puissantes en action de haut en bas et de bas en haut brisaient, disloquaient et rejetaient les couches, et c'est dans les failles ainsi formées que trouvaient parfois leur passage les argiles plastiques ascendantes ; celles-ci même acquéraient, sous ces fortes pressions, une compacité qui, dans certains cas, a pu les faire considérer comme des roches éruptives, d'autant plus qu'elles en avaient les apparences en beaucoup de points, comme nous avons pu le constater par divers échantillons ; elles jouaient, en effet, le rôle habituel à certaines roches éruptives, sauf l'action calorifique, c'est-à-dire qu'elles remplissaient les failles, qu'elles les avaient même produites dans leur mouvement de bas en haut, s'intercalaient entre deux couches, se moulaient sur leurs protubérances ou dans leurs creux : elles semblaient, en un mot, avoir passé par l'état fluide ; mais l'absence d'action calorifique, dans ces cas, est un fait à l'appui de notre opinion, d'autant plus que certaines de ces roches, soi-disant éruptives, sont d'une composition qui ne saurait permettre leur fusion qu'à une température extrêmement élevée, de sorte que les couches au contact auraient été profondément métamorphisées, ce qui n'a pas lieu.

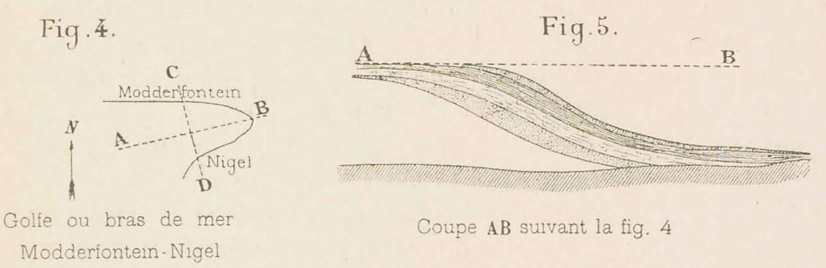
Les faits précis que nous citerons plus loin, au sujet de la mine du « Champ d'or », corroboreront encore ces vues sur la géologie de ces terrains.

L'opinion de l'horizontalité première des couches a conduit les géologues à penser qu'elles ne sont pas relevées seulement le long de la chaîne du Rand, mais encore vers le sud, un synclinal ou fond de bateau existant entre ces deux lignes de relèvement. Nous ferons remarquer que rien de sérieux n'autorise, selon nous, jusqu'ici, à dire qu'on ait une seule trace des couches du « Rand » redressées vers le sud et que, en ce qui nous concerne, si c'était un véritable redressement que nous eussions de l'horizontale à la verticale au « Rand », ce serait déjà un fait assez extraordinaire par lui-même pour que nous soyons réservés sur l'hypothèse qu'il a pu se produire une seconde fois vers le sud, à moins d'en avoir des preuves certaines, ce qui est loin d'exister. Le seul fait, qui prête à l'illusion d'un redressement des couches au sud, est celui de la présence de deux séries de couches vers l'est du bassin : la série Modderfontein au nord et la série Nigel au sud, qui se font vis-à-vis à 70 *km* environ de distance, pendant que leurs couches respectives s'inclinent en sens inverse, comme si elles allaient se rejoindre en profondeur ; ces couches, en effet, ont à peu près la même inclinaison dans les deux séries et leurs conditions stratigraphiques et lithologiques ont une assez grande similitude pour qu'on puisse admettre qu'elles sont contemporaines. Une autre objection que je vois au relèvement jusqu'à la verticale de couches qui se seraient déposées horizontalement, c'est qu'ici, en additionnant les épaisseurs de ces bancs sédimentaires superposés, on arrive à des épaisseurs colossales de 7 *km* et au dessus dans certains points ; l'océan qui aurait servi de réceptacle à de pareils dépôts, ramenés par la pensée à l'état horizontal, aurait dû avoir une profondeur minima de 7 *km*, c'est-à-dire bien supérieure à celle de nos océans actuels ; il faudrait encore admettre que le granit sur lequel reposent ces couches, et qui était évidemment solidifié au moment du dépôt, s'est redressé, comme nous le voyons aujourd'hui, en même temps que les bancs stratifiés qu'il supporte ; or, sans tenir compte de l'effort immense que de tels mouvements exigeraient, on se demandera si le granit massif de la base n'aurait pas été fracturé et broyé sous une telle influence, alors qu'il ne paraît pas fendillé d'une façon anormale.

Nous admettons aisément que les couches sédimentaires, surtout celles qui étaient argileuses, vaseuses, ou même à grains fins, aient subi des redressements à cause de leur situation au sein de la masse des eaux qui les pénétrait et de leur plasticité

naturelle, mais tout autre est le cas des granits compacts et résistants qui supportaient ces couches.

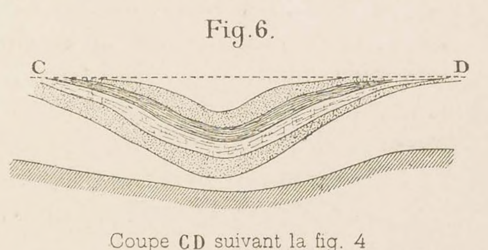
Pour nous, les redressements de couches se faisant vis-à-vis proviennent simplement de ce qu'on se trouve en face des affleurements de mêmes bancs déposés autrefois sur les berges opposées d'un large cours d'eau, ou bien d'un golfe, ou même, dans certains cas, d'un bras de mer, et c'est le cas des séries de la



Golfe ou bras de mer Modderfontein-Nigel

Coupe AB suivant la fig. 4

Nigel et de la Modderfontein (*fig. 4*); la coupe AB (*fig. 5*) est celle des couches dans le sens où elles se sont déposées, et la coupe CD (*fig. 6*) montre la façon dont les couches ont épousé le relief ancien des terrains, tout en donnant l'illusion d'un fond de bateau. Le cours d'eau, venant du nord-est, aurait déposé sur ses deux berges les éléments pareils que nous retrouvons; ce qui prouverait encore la réalité de cette hypothèse, c'est que les couches sont moins inclinées à mesure que l'on s'enfonce dans le golfe, vers le nord-est ; elles ont 70° d'inclinaison avant d'y pénétrer et 18° quand elles y sont, ce qui est tout à fait conforme à l'expérience que les eaux des fleuves larges et relativement peu rapides ont leurs dépôts peu inclinés ; de plus, dans un détroit, les effets de dépression des grands fonds qui ont contribué à relever l'affleurement des couches se sont moins fait sentir que sur les bords de l'océan lui-même.



Coupe CD suivant la fig. 4

Mais, en dehors de l'hypothèse ci-dessus, si nous faisions une coupe allant du Champ d'Or à Randfontein, dans l'angle nord-ouest du bassin du Rand où les couches s'infléchissent sans qu'on les perde de vue, nous réaliserions les coupes précédentes, comme on peut facilement s'en assurer d'après l'examen de la carte générale placée à la fin de cette note, sauf qu'étant ici en plein

bassin, l'inclinaison des couches anciennes se trouve beaucoup plus forte que dans le golfe Modderfontein-Nigel, par suite des causes que nous avons énumérées précédemment.

Nous allons maintenant aborder un sujet qui a une grande importance dans le cas présent; nous voulons parler de la relation qui existe entre la composition de chaque couche et la vitesse des courants d'eaux qui l'ont formée. Cette relation est *absolue* et l'on peut dire, comme une loi, que « Si l'on divise la largeur d'un cours d'eau en éléments d'égale vitesse, chacun de ces éléments ne déposera le long de son cours que des graviers d'une grosseur donnée ». Ainsi, un élément de courant marchant à la vitesse de 0,60 *m* par seconde ne déposera que des graviers de 1 à 2 *cm* de diamètre qu'il est capable de mettre en mouvement, tandis qu'il laissera, dans les parties supérieures de son cours, les graviers de 5 à 10 *cm* de diamètre qui exigent un courant de plus de 1 *m* par seconde; mais, d'autre part, il emportera, sans jamais les déposer, les graviers au-dessous de 3 *cm* de diamètre, qui, pour se mettre en mouvement, n'ont besoin que d'une vitesse d'eau inférieure à 70 *cm* par seconde. Il résulte de ce fait que, suivant le sens normal à un vaste cours d'eau, les atterrissements de son embouchure se composent de couches contemporaines, mais nettement variables, en grosseur de leurs éléments, en épaisseur et en degré d'inclinaison. Mais, il faut ajouter ici que les graviers ainsi déposés, quelle que soit la dimension de leurs éléments, présentent des interstices; or, dans ces interstices, la vitesse du courant est à peu près nulle et descend au-dessous des 7 *cm* par mètre de vitesse d'eau qui sont nécessaires au transport des sables fins, de sorte que ceux-ci ne tardent pas à s'y accumuler, en même temps que les éléments légers, tels que les débris végétaux ou animaux, dont nous verrons plus tard le rôle actif dans la précipitation de l'or et des autres métaux ou substances minérales associés. Un remarquable travail de M. Thoulet, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (1), est venu complètement à l'appui de la thèse que nous soutenions dans un article publié dans *la Nature*, quelques jours auparavant (2).

M. Thoulet précise, en effet, qu'un amas de sable, déposé en eaux vives, a des espaces vides égaux à 16 *cm* du volume total de l'amas considéré, et que c'est là la limite naturelle de la pro-

(1) *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 3 décembre 1894.

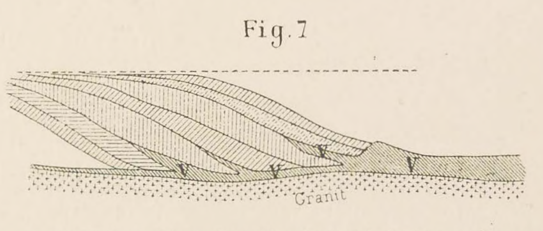
(2) *La Nature*, 17 novembre 1894 : *Théorie de la formation aurifère du Witwatersrand*, par M. Jules Garnier.

portion de vase qui peut être absorbée dans les interstices dudit sable.

D'après ce que nous venons d'établir, on voit que les particules vaseuses ayant quitté les lits des rivières ou les bords des océans, vont au loin déposer peu à peu leurs éléments les plus gros, mais que certains d'entre ces éléments sont tellement ténus qu'ils ont la plus grande peine à atteindre le fond des eaux.

M. Cialdi et les frères Weber ont recherché quelles conditions étaient nécessaires pour que les vases ténues pussent enfin se déposer; ils sont arrivés à ce résultat remarquable « que ce n'est qu'à une profondeur égale à 350 fois la hauteur maxima des vagues que les vases fines peuvent se déposer »; ces vases sont même à un tel état de finesse qu'elles en arrivent à produire la coloration des eaux: c'est ainsi que M. Gérardin a reconnu que le *bleu* des eaux n'est pas dû à autre chose. Néanmoins, certaines substances, en suspension ou en dissolution dans les eaux, permettent la clarification complète; c'est bien là une des propriétés bien connues des poussières de charbon, et comme, à l'époque de la formation des couches du Rand, les cours d'eau y charriaient certainement déjà une certaine proportion de carbone, dont nous avons d'ailleurs retrouvé les traces dans les grès aurifères, il n'est pas douteux que les grandes profondeurs des excavations de granit ne se soient remplies, dès cette époque, d'un mélange de vase et de matières graphiteuses; cette vase devait former d'immenses amas au pied des couches en formation et bien en avant d'elles, de sorte que chaque couche sédimentaire inclinée nouvelle, se superposant aux précédentes, venait étaler ses extrémités inférieures sur cette masse vaseuse. La figure 7 montre ce qui se passait alors et la façon dont la vase elle-même, comprimée par le poids des roches qui l'emprisonnaient, pouvait être refoulée entre leurs strates et s'élever ainsi plus ou moins près de la surface des sédiments; de plus, la masse vaseuse était refoulée en avant par la poussée des bancs solides, à mesure qu'ils s'avançaient. En réfléchissant à ce fait indéniable, considérant d'ailleurs que la proportion des vases charriées par les cours d'eau était immense par rapport aux élé-

Fig. 7



Couches de grès et de conglomérats refoulant la couche de vase V et de particules charbonneuses

ments de quartz, puisque la composition moyenne des roches contient toujours peu de quartz libre par rapport aux autres éléments véhiculés, nous arrivons à cette conclusion : qu'il nous faut trouver ce qu'est devenue cette colossale masse de boue qui s'est alors précipitée dans les grands fonds des eaux en avant des éléments quartzeux stratifiés.

Je rappellerai ce que nous disions plus haut, à savoir qu'il est possible que les matières composant certains dykes pourraient bien n'avoir pour origine que les boues elles-mêmes. Rien ne s'opposerait à ce que, sous l'influence de l'effet du temps, de la pression et de l'affinité chimique, il ne se soit, à la longue, *développé* les formes cristallines que nous trouvons aujourd'hui noyées dans leurs masses : le cristal n'est-il pas la première forme de la vie, puisqu'il touche aux êtres organisés par trois points importants : l'unité de composition chimique; la forme toujours la même pour la même composition; et, enfin, les éléments de chaque cristal n'ont-ils pas possédé le mouvement puisqu'ils ont pu se superposer suivant des lois précises.

Mais il a dû arriver, à la longue, que les estuaires, composés des masses de graviers successivement déposés par les cours d'eau, ont fini par se rencontrer dans une marche en sens inverse, lente mais certaine. C'est là un fait dont nous allons examiner les conséquences. La figure 8 (qui représente le delta du Rhône de 50 *km* de largeur rencontrant le delta du Volga de 90 *km* de largeur) nous indique comment le fait a pu se présenter. Une telle rencontre n'a dû se produire, évidemment, qu'à une grande distance des anciens rivages, c'est-à-dire en des points où la profondeur des eaux avait des chances pour être la plus considérable. Par suite, en ces points, l'épaisseur des vases recouvrant le seuil de granit était la plus importante. Sous la poussée du poids des matières constituant les deux deltas, la vase s'élevait peu à peu et les figures 9, 10 et 11 nous montrent encore la succession des faits qui durent se passer : tout d'abord, dans le bras de mer plus ou moins large séparant les deux estuaires, la vitesse des eaux des deux anciens cours d'eau tendit à diminuer de plus en plus, jusqu'au point limite où elle fut à peu près nulle, de façon que,

Fig. 8.



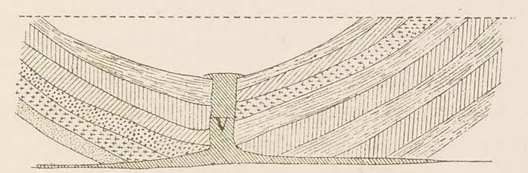
Rencontre de deux Deltas.

obéissant aux lois que nous avons émises plus haut, les dépôts sédimentaires, qui se déposèrent en bouchant les espaces supérieurs séparant les parties les plus élevées des deux estuaires, devinrent composés d'éléments de plus en plus fins, se superposant dans une position de plus en plus rapprochée de l'horizontale; mais les boues très fluides provenant du fond n'on ont pas moins poursuivi leur mouvement ascensionnel vertical entre les deux estuaires, au travers des cheminées ovoïdes le long desquelles elles s'élevaient à peu près constamment, s'écoulant par là comme des fleuves de boue, sous l'action d'une immense poussée, usant, arrachant les parois des strates anciennes ou relevant jusqu'à la verticale les nouvelles strates argileuses qui venaient s'ajouter et se superposer aux anciennes autour de ce moule mobile.

Fig. 9.

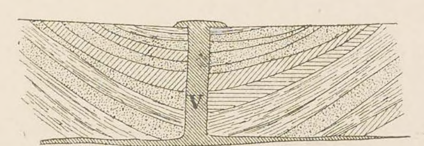
V. Dépôt de vase et particules charbonneuses resserré entre deux estuaires (1re phase)

Fig. 10



V. Dépôt de vase et particules charbonneuses resserré entre deux estuaires (2e phase)

Fig. 11.



V. Dépôt de vase et particules charbonneuses resserré entre deux estuaires (dernière phase)

Enfin la surface des eaux fut atteinte et fit place aux terres, et le géologue de nos jours se trouve seulement en présence d'une série d'excroissances faisant plus ou moins saillie, et dont chacune marque aujourd'hui l'embouchure extérieure de l'ancien fleuve ascendant de boue plastique : c'est ainsi que, sur une longueur à peu près rectiligne de 200 *km*, passant de la colonie du Cap (Griqualand ouest) dans l'État d'Orange, au sud du Transvaal, on

a rencontré le jalonnement plus ou moins rapproché de ces sommets boueux se dirigeant du sud-est au nord-ouest.

Ces jaillissements de vases étaient mus par une force que l'on peut calculer; en effet, si nous admettons que la hauteur des vagues de l'ancien océan, aujourd'hui comblé, fut de 20 *m* (1), c'est à 7000 *m* que les bancs vaseux avaient leur surface : Nous pouvons considérer que la densité des dépôts alluvionnaires qui pesaient sur eux étant de 3, la pression supportée était de :

$$\frac{7000 \times 3}{10} = 2100 \; atm.$$

Le charbon contenu dans la vase à l'état fragmentaire a bien pu, sous l'effort de cette pression prolongée, se transformer d'abord en graphite et enfin en diamants, tels que nous les trouvons aujourd'hui. Sans doute ce carbone, qui provient des époques géologiques les plus lointaines, était d'une pureté parfaite, la cohésion et la cristallisation seuls lui manquaient. Nous avons toutefois hésité à publier cette opinion sur la formation des diamants tant elle s'éloigne de celle des savants éminents qui ont étudié la question jusqu'ici; nous nous sommes toutefois décidés à sortir de notre réserve par suite de l'accueil bienveillant qu'a reçu de certains Ingénieurs du Transvaal notre opinion sur l'origine de l'or par précipitation (2) et aussi parce que notre manière d'ex-

(1) Nos océans ont parfois des vagues de plus de 30 *m* de hauteur.

(2) Le savant Secrétaire Général de la Société géologique de Johannesburg, M. David Draper, nous écrivait à la date du 8 décembre 1895 :

Dear Sir,

At the last meeting of the geological Society I read an extract of your very interesting paper, which you kindly presented to our Society some time back...

I quite agree with you about the precipitation of the gold from a solution, as so clearly expressed in your paper, and I feel certain that if you could study the conglomerate *in situ*, that you would be able to couvince those who to day hold different opinions...

The Buffelsdoorn occurence of golden coal is most interesting and conclusive...

Yours.....

David Draper.

Cher Monsieur,

Au dernier meeting de notre Société géologique, j'ai lu un extrait de la très intéressante notice que vous avez bien voulu présenter à notre Société il y a quelque temps...

Je suis tout à fait d'accord avec vous en ce qui concerne la précipitation de l'or d'une solution, comme c'est si clairement exprimé dans votre notice, et je suis convaincu que si vous pouviez étudier les conglomérats *in situ*, vous apporteriez la conviction dans l'esprit de ceux qui partagent aujourd'hui des opinions différentes...

La présence de l'or dans le charbon à la mine de Buffelsdoorn est des plus intéressante et concluante...

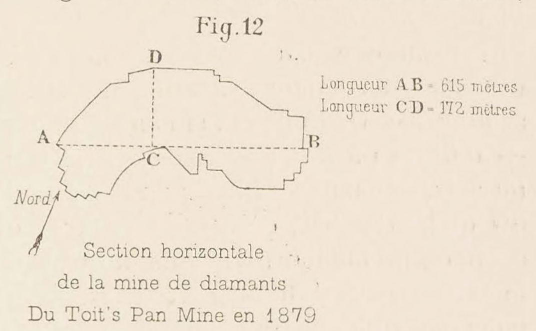
Agréez.....

David Draper.

pliquer l'arrivée au jour des bancs diamantifères est celle qui, jusqu'à présent, semble le mieux s'adapter aux faits.

Les mines de diamant du sud de l'Afrique ont été fréquemment décrites et particulièrement par M. Chaper (1880), puis par M. Moulle (1885) et enfin par M. Gardner (1893).

Je me permettrai donc de renvoyer mes auditeurs à ces descriptions fort bien faites et qui s'adaptent exactement, surtout celle de M. Chaper, aux explications que je donne de cette curieuse formation, avec cette différence que ces auteurs expliquent autrement que je ne le fais la genèse de ces roches diamantifères, bien qu'ils reconnaissent qu'aucune action calorifique, même de très faible importance, n'est constatable. Ils admettent tous que la roche diamantifère garnit le vide de cheminées verticales (*fig. 12 et 13*) dont nous donnons ici deux coupes horizontales. Les roches formant les parois de ces cheminées sont des boues, des schistes très peu compacts, à peu près horizontaux près de la surface, mais relevés au contact de la roche diamantifère jaillissante jusqu'à la verticale elle-même.



Section horizontale
de la mine de diamants
Du Toit's Pan Mine en 1879

Fig. 13.

G
E
F
H
Nord
Longueur EF = 314 mètres
Longueur GH = 186 mètres

Section horizontale
de la mine de diamants
Kimberley Mine en 1879

Quand les bancs, au lieu d'être des schistes plastiques sont des roches dures, la surface en est seulement polie dans l'intérieur des cheminées. Quant à la matière diamantifère, elle est arrivée en plusieurs jets sous l'influence de pressions qui semblaient intermittentes ou de plus en plus fortes, ce qui devait, en effet, arriver d'après les causes que nous avons données de ces phénomènes. Les matières éjectées à l'air libre semblent avoir été parfois d'un volume assez grand, si l'on en juge par l'importance de la tête du « champignon » saillant et s'étalant encore à la surface du sol; cette *tête de champignon* a été plus ou moins dé-

nudée sous l'influence du temps, abandonnant jusqu'à des distances assez fortes des alluvions diamantifères qu'on a tout d'abord exploitées. Nous pensons encore que ces boues ont surgi pendant des périodes suffisamment longues pour avoir contribué par les éléments solides qu'elles élevaient au jour à la formation de certains bancs relativement récents, tels que ceux de Klerksdorp qui contiennent à la fois de l'or et du diamant. Parfois, au lieu d'un champignon en relief, ces cheminées se terminent par un creux de retrait où se réunissent les eaux de pluie et l'on traverse une couche de vase alluvionnaire avant d'arriver à la boue diamantifère éjectée : ce cas a dû se produire, d'après les lois de l'hydrostatique, dans les points où le relief du sol avait un niveau plus élevé à l'époque des jaillissements. L'âge de ces éruptions ne semble pas très ancien, si l'on en juge par le peu de profondeur — tout au plus 20 mètres — où les actions atmosphériques ont pu agir, donnant à la masse diamantifère une teinte jaune, tandis qu'au-dessous, c'est la teinte bleue qui se présente et se conserve en profondeur. Cette matière bleue exposée sur le sol, par le mineur, aux intempéries, ne tarde pas à se résoudre en une boue magnésienne, qui seule contient le diamant, laissant intacte une masse énorme de roches brisées, de toutes dimensions et de toute nature. Les grès et les schistes arrachés des parois pendant le mouvement ascensionnel ont conservé tous leurs angles, preuve qu'après l'arrachement ils n'ont pas été frictionnés les uns contre les autres mais simplement portés vers la surface par les masses boueuses : les actions mécaniques étaient d'une puissance extraordinaire, puisqu'un seul de ces blocs de schiste n'avait pas moins de 36 000 m^3. Les roches cristallines se rencontrent aussi parmi les débris; elles sont plus rares, plus ou moins roulées, provenant sans doute des débris arrachés à des bancs de conglomérats. Les travaux des mines, dans toutes ces cheminées, ont montré que la matière diamantifère est partout composée des mêmes éléments, distribués de la même façon, ce qui faisait dire à M. Chaper qu'ils provenaient tous d'un même réservoir commun.

Enfin, M. Gardner, directeur actuel de la Compagnie de De Beers, a constaté dans cette mine la présence d'un dyke vertical, qui la coupe en deux; il est de composition semblable à celle de la matière diamantifère, sauf que celle-ci n'est pas autant décomposée : ce dyke vient se fondre à l'ouest de la mine dans une partie qui est, comme le dyke lui-même, à peu près exempte de diamants.

Pour nous, ce dyke est de même origine que le banc diamantifère, il est seulement formé d'une zone privée de carbone qui s'était étalée avec le reste du banc de vase et qui a aussi été poussée vers la surface sans trop se mêler aux bancs qui l'entouraient; l'absence de particules charbonneuses dans la masse de vase semblerait donc être la cause pour laquelle la roche diamantifère n'a pas de cohésion; en effet, on peut enlever la compacité à une argile en la mélangeant, à dose élevée, de poussière de charbon de bois; or, il est reconnu que la roche diamantifère comporte une quantité innombrable de diamants microscopiques.

Lorsque M. P. Garnier se rendit au Transvaal, nous l'avions chargé d'étudier de très près les faits qui pouvaient corroborer notre opinion du rôle des boues vaseuses, non seulement comme gangue du diamant, mais encore comme agent de force mécanique dans la stratigraphie actuelle des couches; il put précisément se rendre compte que, dans certaines mines d'or, on retrouve des ascensions de matières boueuses qui rappellent tout à fait celles des mines de diamant; ainsi, à la mine du Champ d'Or, M. Chouan, le directeur, put montrer à M. P. Garnier les deux faits suivants : il y a, dans cette mine, deux failles, l'une de 130 *m* de large, l'autre de 50 *m*; celle-ci, qui est à l'est de la concession, a rejeté les couches, dirigées est-ouest, de 50 *m* vers le nord, pendant que la première de ces failles ne les a rejetées que de 6 *m* vers le sud.

La matière remplissant ces failles est, à l'ouest, une argile très plastique chargée d'eau, au point d'en être liquide, et dans laquelle les galeries ne peuvent pénétrer, car elles se remplissent de boues aussitôt qu'elles y débouchent.

Dans la faille de l'est, c'est aussi de l'argile plastique qui a rempli les vides, mais, à une profondeur de 50 *m* au-dessous de de la surface, cette argile se charge de blocs de grès, à arêtes vives, comme ceux qu'on trouve dans les mines de diamant et grâce à la présence de ces blocs qui raffermissent le terrain, on a pu établir des galeries à ce niveau. M. Chouan pense qu'en profondeur la faille de l'est deviendra accessible pour la même raison. Nous avons soumis à M. Chouan notre opinion sur l'origine des boues argileuses qui remplissent les failles de sa mine et, aussi, sur notre façon d'envisager la formation des mines de diamant dans lesquelles il est aussi resté comme Ingénieur pendant plusieurs années avant de diriger les mines d'or du Transvaal, nous devons dire que cette théorie lui a paru tout à fait conforme à la réalité des faits qu'il a pu bien observer de longue date.

Nous avons vu plus haut que la pression exercée sur les bancs de vase déposés sur le fond de granit de l'ancien océan avait pu arriver à 2100 *atm*; une pareille pression a bien pu provoquer la transformation du graphite en diamant. Depuis longtemps, on pense que la pression produite par le refroidissement brusque, c'est-à-dire la trempe, d'un métal mélangé de carbone transformait celui-ci en diamant, cause de la dureté des aciers. L'Ingénieur C.-G. Jullien, dans son *Résumé sur l'aciération* (1), a écrit nettement (p. 174) que l'acier trempé n'est qu'un mélange de fer et de diamant et, qu'avant la trempe, c'est un mélange de fer et de graphite. Cet Ingénieur, très convaincu par ses longues études pratiques de ces faits trop nouveaux pour ses contemporains, fut seulement dans l'impossibilité de les démontrer par l'analyse chimique et c'est à M. Moissan qu'était réservé l'honneur, dans ces derniers temps, de le faire et de prouver l'exactitude des conceptions de Jullien qui, dans son temps, les exposait avec une véritable passion.

Si nous revenons maintenant aux sédiments aurifères, nous ferons remarquer que l'or s'y rencontre en particules invisibles à l'œil nu, sauf dans des cas très rares, où il affecte la forme de petits cristaux très nets.

On a remarqué que si les galets des conglomérats ont une fente, celle-ci renferme souvent de l'or; ce fait est naturel puisque c'est dans les interstices les plus à l'abri des courants que s'élaboraient les gaz réducteurs des sels d'or; de même le précieux métal forme parfois un enduit sur le galet lui-même, ce qui s'explique naturellement par ce fait que l'or précipité de sa solution descend par son poids sur la surface des galets placés au-dessous de lui. Le ciment qui relie les galets est, parfois, presque exclusivement composé de pyrite de fer, toujours cristallisée et servant elle-même de réceptacle aux particules d'or. Dans les couches plus récentes et telles que celles de la Buffelsdoorn Estate, qui sont composées d'un grès saccharoïde, l'or se rencontre accompagné de matières charbonneuses formant de petites veinules de 1 à 5 *cm* d'épaisseur, stratifiées dans le centre du grès. Ce charbon a plutôt l'aspect du lignite et, à son voisinage, la teneur en or augmente considérablement dans le minerai, pendant que dans le charbon lui-même la teneur en or est extrême et s'élève jusqu'à 24 *kg* à la tonne. Mon fils, M. P. Garnier, a, pour la

(1) Baudry, éditeur, 1868.

première fois, d'une façon officielle, constaté les faits ci-dessus, car nous les avons fait connaître, le 21 juin 1895, à la Société de Géographie (page 277 et suivantes). En tout cas, ce fait bien établi est une confirmation évidente de notre théorie qui veut que l'or soit ici le produit d'une précipitation sous l'influence de substances réductrices.

Depuis cette époque, on a signalé dans d'autres couches aurifères de la série du « Black reef », moins anciennes que les précédentes, la présence de petits lits charbonneux ayant joué le même rôle qu'à la mine Buffelsdoorn (1).

On a voulu voir une étroite connexion entre la présence des dykes et les dépôts aurifères; en ce qui nous concerne, nous ne voyons pas comment elle aurait pu s'exercer, sauf que l'intrusion des roches éruptives formant la masse des dykes, recoupant une couche aurifère, la refoule simplement et augmente, au contact, son épaisseur, mais sans augmenter sa teneur moyenne.

On a, il est vrai, constaté que certains de ces dykes étaient légèrement aurifères, et ce fait confirmerait notre opinion que, dans certains cas, ces matières éruptives dériveraient simplement des parties vaseuses qui s'appuient sur le granit et qui auraient été refoulées vers le haut, comme nous l'avons dit; ces parties vaseuses ayant elles-mêmes précipité de l'or.

Nous nous sommes demandé aussi quel était le sel d'or en dissolution? Dans mes précédentes notes, j'ai déjà avancé que ce sel devait être un trichlorure, lequel est relativement très stable et permet, en outre, la formation de chlorures nouveaux, dont nous pouvons suivre les évolutions dans la nature. Les êtres organisés ou leurs dépouilles, aussi bien que les matières végétales, se mêlaient à ces eaux contenant l'or en dissolution: mais ces substances organiques devaient se putréfier ou se décomposer, c'est-à-dire dégager des gaz susceptibles de réduire le trichlorure d'or; on sait, d'autre part, que les matières organiques n'arrivent à ce point, dans les lacs, qu'après s'être déposées et y avoir séjourné, ainsi qu'on peut s'en assurer en remuant le fond d'une pièce d'eau, ce qui fait aussitôt jaillir une masse de gaz. Dans la réaction qui s'opérait pour précipiter l'or, le chlore, ou l'acide chlorhydrique dégagés, tendaient à former des chlorures de calcium, de magnésium et alcalins, aux dépens des éléments minéraux des particules de vase qui les entouraient, ne laissant que

(1) Société géologique de Johannesburg. Séance du 15 nov. 1895 : communication de M. White.

la pâte siliceuse qui relie les éléments roulés des conglomérats et enveloppe l'or, laquelle passait donc sans doute par l'état de silice gélatineuse, mais devenait plus compacte avec le temps. Nous verrons plus tard comment se précipitèrent ces chlorures de chaux et de magnésie et comment il ne resta plus, à la fin, dans la solution que des chlorures alcalins et des sulfates analogues à ceux que l'on trouve actuellement dans les océans.

Nous nous sommes demandé encore quelles pouvaient être plus particulièrement les matières précipitantes de l'or : le choix paraît facile, si l'on réfléchit qu'un grand nombre de corps simples précipitent l'or, tels que le phosphore, l'arsenic, l'antimoine, etc., que le sulfate de protoxyde de fer, que nous savons avoir existé en grande abondance dans ces eaux, précipite aussi le précieux métal; que les sous-sels : acide phosphoreux, sulfureux, azoteux..., décomposent aussi les sels d'or; que l'hydrogène sulfuré a une grande action sur lui, enfin que les gaz qui s'échappent des matières végétales en train de se changer en carbone, séparent aussi l'or de ses solutions et que le charbon lui-même peut agir ainsi. Nous citerons quelques exemples, pour montrer combien la nature offre de ressources pour préparer les éléments susceptibles de précipiter l'or, et certains autres métaux connexes, de leurs solutions.

Tout d'abord, le sulfate de protoxyde de fer existait en abondance, puisque les pyrites qui constituent une partie de la pâte aurifère ont certainement passé, en majeure partie, à l'état de protoxyde de fer avant d'être complètement métamorphosées. La présence de l'hydrogène sulfuré peut aussi très bien s'expliquer par les découvertes récentes que nous allons rappeler : en 1890, M. Androunoff constata que dans la mer Noire, au-dessous du niveau de 200 *m*, 100 *l* d'eau tenaient en dissolution 33 cm^3 d'hydrogène sulfuré, et à 2 370 *m*, l'énorme proportion de 655 cm^3. Un tel phénomène resta sans explication jusqu'en 1895, où M. Zélinski, dans le *Journal de la Société chimique de Saint-Pétersbourg*, démontra que l'auteur de cet hydrogène sulfuré n'était qu'un micro-organisme qu'il nomma : bactérium-hydro-sulfureum-ponticum. De son côté, M. Broussilowski vient de découvrir un être, plus actif encore que celui de la mer Noire, pour produire l'hydrogène sulfuré et il le nomme : Vibrio-hydrosulfureus; on le rencontre dans la baie d'Odessa.

Ces dégagements d'hydrogène sulfuré suffisent pour détruire les poissons de la mer Noire, et l'on a reconnu que ces microbes se nourrissent des varechs, des cadavres d'animaux morts, des

gypses, des sulfates et des hyposulfites qu'ils décomposent, rejetant le soufre contenu à l'état de gaz hydrogène sulfuré.

Nous avons dit que les sédiments aurifères ne présentent pas de fossiles, et il est probable que les animaux de taille appréciable, analogues à ceux qui existaient déjà dans d'autres mers à cette époque, ne pouvaient vivre ici par suite de l'acidité des eaux et de la masse des sels qu'elles contenaient. On sait, toutefois, qu'à ces mêmes époques, les mers étaient souvent habitées par des animalcules microscopiques, des « diatomées » à carapaces presque exclusivement siliceuses; des microbes du même ordre ont pu fournir la matière organique voulue pour précipiter l'or, pendant que la partie siliceuse de leur carapace se retrouve dans le ciment des conglomérats. J'ajouterai à cet égard que l'on sait aujourd'hui que les eaux les plus claires des lacs contiennent des nuées de ces êtres microscopiques, et j'ai pu moi-même en recueillir des quantités en filtrant les eaux, si limpides à l'œil, des grands lacs du Canada et, si l'on drague la surface des bancs déposés au fond de ces lacs, on y trouve, en énorme proportion, la dépouille de ces animalcules déjà fossilisée; mais il s'agit ici d'eaux douces qui ont pu conserver ces dépouilles, tandis que dans les anciennes mers du Sud-Afrique, si ces animalcules existaient, leurs débris ont dû être tellement rongés par l'acidité des eaux, qu'on ne peut plus en retrouver les traces aujourd'hui.

Nous avons vu plus haut l'action du carbone comme matière précipitante de l'or, il ne nous reste plus à parler que de l'influence réciproque des corps légers et très divisés en suspension dans l'eau et de certains sels solubles, qui peuvent s'unir moléculairement ou physiquement et se précipiter ensemble; c'est ainsi que M. Schlœsing a pu précipiter en même temps, par cette action réciproque, de l'argile très divisée dans de l'eau qui tenait elle-même certains chlorures en dissolution. Nous signalons ici ce fait avec empressement, car il expliquerait la précipitation du ciment aurifère et l'absence d'éléments fossiles. Toutefois, réfléchissant que les formes des êtres microscopiques anciens ont pu s'effacer, mais que, dans ce cas, elles auraient toujours laissé une trace sous forme de phosphore, qui accompagne tout être organisé en plus ou moins grande proportion, nous avons recherché le phosphore dans les ciments aurifères, et voici les résultats obtenus sur un fragment de conglomérat provenant du « Main reef leader du Champ d'Or » :

Poids total de l'échantillon essayé . . . . 260 *g*

Division à la main de l'échantillon de la manière suivante :

1° Partie A, constituée par le ciment exempt de grains de quartz.	10 *g*
2° Partie B, ciment avec quelques grains de quartz. .	15
3° Gros fragments de quartz roulés avec un peu de pâte adhérente à leur surface	235
TOTAL.	260 *g*

L'analyse des parties A et B a donné :

	Partie A	Partie B
	—	—
Perte au feu	2,20	2,40
Silice	83,20	85,60
Alumine.	2,85	3,50
Acide phosphorique.	0,150	0,10
Peroxyde de fer.	11,00	8,60
Chaux.	trace	trace
TOTAL.	99,40	100,2

La fusion plombeuse et la coupellation opérée sur 25 *g* du ciment aurifère a fourni un bouton d'or de 69 *mg* ou 2,76 *kg* à la tonne.

La présence du phosphore est donc bien constatée dans la pâte, pendant que les noyaux de quartz n'en contiennent pas, et c'est là un indice très probant de la préexistence de matières organisées dans cette pâte. Il est remarquable que les pyrites aurifères, qui constituent toujours une forte proportion du ciment, contiennent une proportion de métaux autre que le fer, de plus en plus grande, à mesure que les dépôts se sont effectués dans des couches plus récentes; c'est ainsi que le cuivre, le nickel, le cobalt, le manganèse, etc., se trouvent en proportion importante dans les couches du « Black reef » qui forment la limite supérieure de la série dans le Witwatersrand et dans le Lydenburg.

La présence de ces métaux peut provenir, soit de leur arrivée postérieure à l'or à l'état de sels solubles amenés par les cours d'eau, soit de ce que les sels de ces métaux étant moins faciles à réduire que les sels d'or, se sont concentrés et n'ont précipité leur métal qu'au moment où les eaux sont devenues moins acides et où nous constatons en même temps, pour la première fois, la présence des matières charbonneuses elles-mêmes. Quoi qu'il en

soit, la présence de ces métaux à l'état de sulfure s'explique, comme pour le fer, par une action réductrice qui s'est exercée sur leurs sulfates : en tout cas, cette variation de composition des pyrites, à mesure qu'elles se trouvent dans des couches d'âge différent, est une nouvelle preuve qu'elles se sont formées sur place et ne proviennent pas de débris de filons ou amas amenés des montagnes voisines, sauf l'exception dont nous parlerons à propos du « Black reef »; en effet, la composition des pyrites aurifères serait plus constante, si elles étaient, comme on l'a dit, des fragments roulés d'immenses amas de pyrites érodés.

Nous avons cherché s'il n'était pas possible de déterminer les meilleurs indices de richesse relative en or des différentes couches, et voici les résultats auxquels l'observation nous a conduit : si nous considérons d'abord la grosseur des éléments, comme, d'après notre opinion, ils ont été déposés par de forts courants d'eaux, les matières organiques, généralement légères, ont dû avoir une certaine peine à pénétrer dans les interstices de ces galets et à s'y fixer; on a remarqué, en effet, que les couches à gros galets avaient une richesse en or très capricieuse, à peu près nulle à certains points, très grande ailleurs, sans doute dans les endroits abrités des courants où les organismes ont pu former de petits amas, mais le stérile succède. Nous citerons, comme exemple, la série de « Kimberley reef » qui repose sur celle du « Main reef » et qui comporte des galets de 10 à 12 *cm* de diamètre, et dont les couches n'ont souvent qu'une faible teneur moyenne en or.

Dans le Sud, à Klerksdorp, les conglomérats comportent les éléments les plus gros que nous ayons rencontrés ; ces masses ovoïdes atteignent parfois 50 *cm* de diamètre moyen; leur richesse en or est alors très faible. Les éléments plus fins n'ayant que 1 à 2 *cm* de diamètre, où le courant de l'eau était moyen, correspondent aux mines les plus riches, c'est-à-dire à la série du « Main reef » qui comprend les mines les plus célèbres. Dans les grès, passant souvent au quartzite, la richesse en or atteint rarement 6 *g* à la tonne, ce qui est inexploitable jusqu'ici, mais nous savons que, dans ce cas, la pâte intercalée entre les grains n'est qu'en faible proportion et n'a pu fournir assez d'éléments réducteurs des sels d'or. Nous ferons toutefois une exception dans le cas où le grès est imprégné de matières charbonneuses, comme à la « Buffelsdoorn Estate », mais ce fait se présente seulement dans les grès des étages supérieurs (série d'Elsburg et du Black reef). Enfin, dans les schistes, l'or n'est plus qu'à l'état de traces et même to-

talement absent dans la plupart des cas; on l'a signalé, toutefois, à Blauebank, en faible proportion, inexploitable. Un exemple montre bien l'influence physique des gros galets sur les dépôts d'or, c'est que, dans certaines couches de grès peu riches en or, si l'on rencontre accidentellement un gros galet, la pâte qui s'est déposée, abritée par ce galet contre les efforts du courant, est très riche en or. Il semble que le calme relatif de l'eau était indispensable à l'action chimique précipitante de l'or et des pyrites, et c'est tout naturel : les intervalles entre les galets formaient comme autant d'alvéoles où s'abritaient ces agents réducteurs, pendant que les eaux chargées des sels d'or venaient y déposer le métal, et, se renouvelant sans cesse, ne s'arrêtaient d'apporter leur précieux métal qu'au moment où les interstices étaient définiment pleins du ciment aurifère pyriteux.

Si nous recherchons quelle est l'influence de l'épaisseur des couches sur la richesse en or, nous arrivons à cette conclusion à à peu près générale que, pour une couche donnée et d'épaisseur variable, la richesse en or est indépendante de l'épaisseur, mais seulement proportionnelle à la surface de la couche considérée; en d'autres termes, si une couche passe en direction de l'épaisseur de 1 *m* avec une teneur de deux onces d'or à la tonne, à une épaisseur de 2 *m*, on peut prédire qu'elle n'aura plus alors qu'une once à la tonne; ce fait confirme absolument notre théorie qui veut que l'or se soit précipité *proportionnellement au temps considéré*, pendant que les éléments minéraux de la même couche, dans le même temps considéré, ont fourni une couche variable d'épaisseur *suivant la vitesse variable des eaux dans le sens de la direction de ladite couche.*

Nous remarquerons encore que l'or se présente d'une façon très irrégulière dans une même couche, c'est-à-dire qu'on le trouve en un point quelconque de son épaisseur, ce qui montre bien que l'influence de la pesanteur n'a eu aucune action sur le dépôt d'or. De plus, si un banc de grès ou de schistes vient s'intercaler dans la couche, ces bancs seront beaucoup moins riches en or : toutes choses qui s'accordent encore avec notre théorie de la précipitation.

Les ondulations formées par les directions des couches ne sont pas non plus négligeables; l'angle rentrant de la direction d'une couche correspond à une anse ou à un golfe de l'ancien rivage, c'est-à-dire à des points où les eaux, étant plus tranquilles, pouvaient concentrer une plus grande masse d'êtres organisés; il s'en faut ce-

pendant que cet argument soit absolu, cependant le golfe qui, selon nous, séparait vers l'est les couches Modderfontein au nord, des couches Nigel au sud, et dans lequel les eaux étaient forcément plus calmes, présente précisément des couches d'une grande richesse.

Il est encore évident, d'après ce qui précède, qu'une même couche doit présenter des variations de richesse considérables dans le sens de sa direction. Mais, néanmoins, aussi longtemps qu'une couche conserve en direction la même puissance et la même inclinaison, elle doit conserver la même richesse en or.

De tout ce qui précède, il est évident que la ligne de plus grande pente d'une couche donnée doit présenter une même richesse en or, et c'est ce que l'expérience semble avoir montré jusqu'ici, bien que les profondeurs atteintes par les travaux des mines soient encore peu considérables. Quant à la profondeur, nous pensons que son influence doit être plutôt favorable, attendu que, dans ses parties inférieures, une couche donnée s'est déposée dans des eaux de plus en plus tranquilles et, par suite, plus favorables au développement de la vie animale; enfin, que les débris d'organisme pouvaient se déposer, provenant de toute la hauteur verticale des eaux qui surmontaient le bas de la couche pendant sa formation; et, enfin, que la faible densité des matières organiques leur a permis de s'avancer un peu loin des bords avant qu'ils se précipitent en eau profonde; quoique, à l'encontre de ce fait, les éléments organiques charriés par les eaux avaient plus de chance de s'arrêter par frottement sur les galets voisins de la surface que sur ceux des parties inférieures, tandis que ceux de ces éléments organiques qui gagnaient le large n'étaient d'aucune utilité pour enrichir en or la couche en formation, sauf à une très grande distance de son affleurement, si elle persistait encore. Nous pouvons donc conclure que l'influence de la profondeur d'une couche sur sa richesse n'est pas très nettement établie, qu'elle semblerait favorable ou défavorable suivant les données physiques relatives au courant des eaux, à la densité des substances organiques et à l'intensité de la vie animale dans la région considérée.

Nous allons aborder maintenant une question qui nous semble d'une grande importance pour l'avenir de ces mines : nous voulons parler de la profondeur probable et maxima que les conglomérats aurifères peuvent atteindre dans le sens de la verticale, et aussi jusqu'à quelle distance de leurs affleurements les couches se seront prolongées dans le sens horizontal.

En ce qui concerne la profondeur verticale des couches, elle est d'abord limitée par la profondeur de l'ancien océan lui-même; mais, comme tout indique jusqu'ici que cet océan était autrefois très profond, nous rappellerons que le granit qui formait l'ancienne cuvette avait dû se recouvrir d'abord d'une couche de vase, distante de la surface des eaux de 350 fois la hauteur maxima des vagues. Nous ne savons pas quelle était la hauteur des vagues, qui serait seulement indiquée par la profondeur à laquelle un sondage rencontrerait la masse de vase; nous avons admis, ce qui n'a rien d'extraordinaire, que la hauteur des vagues fut de 20 *m*; nous voyons que la profondeur où les bancs aurifères commenceraient à avoir leurs bases dans la couche vaseuse ne serait pas moindre de 7 000 *m* dans ce cas, et cela sans compter la pénétration par leurs poids de ces couches massives dans la boue visqueuse et plastique qui surmontait le fond de granit. Ce sont là des profondeurs que le mineur ne saurait certainement atteindre, non seulement à cause des difficultés techniques, mais encore à cause de la chaleur : mais ce sera toujours une satisfaction de penser que l'homme sera plutôt arrêté dans ses travaux en profondeur par l'impossibilité physique d'aller plus loin que par le défaut de minerai.

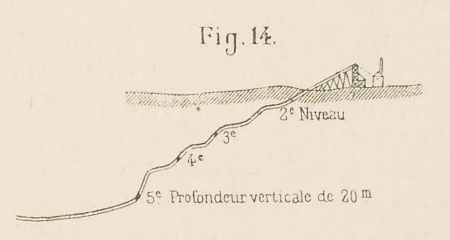
Si nous considérons maintenant à quelle distance des affleurements les couches aurifères peuvent se prolonger, nous verrons que cette distance dépend : 1° de la force du courant, dont la grosseur des éléments de chaque couche aurifère nous donne la mesure ; 2° de l'inclinaison plus ou moins grande de la couche à son affleurement; car plus cette inclinaison sera forte, plus le courant d'eau était grand et plus l'océan devait être profond en ce point, et ses eaux relativement calmes.

Mais il ne faudrait pas s'exagérer, d'après nous, la grandeur de la dimension des couches dans le sens de leur inclinaison, car il est plus que probable qu'aussitôt qu'elles auront atteint une pente voisine de l'horizontale elles s'arrêteront à peu près brusquement, et cela est évident puisque les éléments qui les composent n'obéissent qu'à deux forces : la pesanteur et la vitesse de l'eau ; or, la pesanteur cesse avec l'inclinaison et la vitesse de l'eau avec la grande profondeur.

Nous ferons remarquer ici que si une couche de conglomérat se poursuivait dans une direction voisine de l'horizontale, elle ne pourrait le faire qu'avec une grosseur de grains plus fins, c'est-à-dire qu'elle deviendrait peu à peu un grès.

Les partisans d'une allure en « fond de bateau » des couches aurifères arrivent, par cette conception, à un tonnage de minerai aurifère infiniment plus grand que celui que notre théorie indique; mais, comme dans les deux manières de voir la profondeur à laquelle il nous est impossible de pénétrer ne tarde pas à être atteinte pour la plupart des couches, les résultats, au point de vue de l'exploitation, se trouvent à peu près les mêmes. Il faut considérer, toutefois, que ce sont les séries les plus anciennes de couches aurifères, c'est-à-dire les plus voisines du granit, qui échapperont à notre atteinte dans les grandes profondeurs; mais il existe à la partie supérieure de ces couches des formations plus modernes dont nous allons dire quelques mots et qui, n'étant pas, selon nous, en forme de fond de bateau, perdent beaucoup de leur importance, attendu que leur profondeur ne peut jamais être importante, puisqu'elles se sont déposées dans les cavités de peu d'importance qui restaient à combler et dont les fonds étaient peu éloignés de l'ancienne surface des eaux; ces bassins, que je nommerai secondaires, présentent leurs couches sous des pentes de moins en moins fortes, à mesure que celles-ci se rapprochaient de la surface de l'ancien océan; certains même de ces dépôts, tels que celui du « Black reef », qui paraît être le plus récent, ne présente que de très faibles inclinaisons dans la mine « Orion » *(fig. 14)*.

Fig. 14.



Mine Orion — Coupe transversale

Il y a dans cette mine « Orion » des particularités qu'il vaut la peine de décrire; c'est ainsi qu'il semble que les couches aurifères y contiennent à la fois de l'or précipité, comme nous l'avons dit plus haut, et de l'or transporté provenant de l'érosion des affleurements des couches plus anciennes dont les affleurements l'entouraient. Si l'on examine, en effet, de très près le minerai du Blackreef, on y voit, à côté des éléments de pyrites aurifères cristallisées, des éléments de pyrites aurifères roulées, de très petites dimensions, mais qui, vu la fragilité de la pyrite, ne sauraient provenir que de la désagrégation des couches anciennes situées à une faible distance. Les pyrites de cette couche contiennent aussi beaucoup plus de métaux étrangers au fer, ce qui démontre qu'on était en face d'un bassin dont les eaux avaient pris une composition différente de celle de l'origine; d'autre part,

l'abondance des matières charbonneuses dans le « Black reef » marque aussi une période nettement différente.

L'or de ces minerais, comme on devait s'y attendre dans des eaux aussi impures et chargées de sulfates métalliques, est en très faible proportion à l'état libre, c'est-à-dire qu'il se trouve, pour la plus grande partie, associé aux pyrites, à l'inverse de ce qui se passe dans les couches anciennes.

Toutefois, la double origine de l'or que nous venons d'indiquer dans ces couches supérieures expliquerait leur richesse parfois très grande en or dans certaines parties, pendant que, par ailleurs, le peu de pente des couches, la petitesse de leurs éléments indiquent que les courants d'eaux avaient déjà une vitesse très restreinte et qu'ils laissaient, par suite, déposer un excès d'éléments minéraux, lesquels diminuaient, dans le plus grand nombre des points, la richesse moyenne des couches ; c'est ainsi qu'on peut expliquer l'irrégularité si grande, dans le « Black reef », de la teneur en or. Nous ferons encore remarquer *(fig. 14)* que la couche « Orion » est plissée fortement, et c'est précisément dans ces plis, qui se prolongent en direction, que l'or est le plus abondant, ce qui est naturel si l'on admet la double origine de l'or ici : transport de la pyrite ancienne aurifère et précipitation.

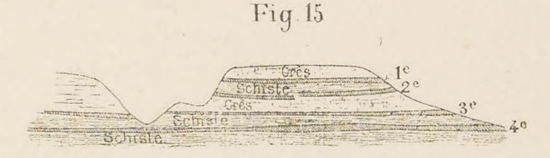
C'est donc dans cette dernière série du « Black reef » que l'or et les métaux associés finirent par se déposer, ne laissant en dissolution que les sels de chaux, de magnésie et alcalins à l'état de chlorures ; l'acidité des eaux n'avait pas permis jusqu'à présent la formation de carbonates de chaux et de magnésie, mais aussitôt que les sulfates acides eurent disparu, transformés en pyrites, les apports par les fleuves de carbonates alcalins permirent, pour la première fois, la précipitation de la dolomite, formant comme un manteau régulier au-dessus de la dernière série supérieure des couches aurifères. Cette couche de dolomite est très puissante ; elle représente, en effet, l'immense somme de chaux et de magnésie que les eaux acides de l'ancien océan avaient pu extraire des calcaires roulés provenant des anciennes montagnes, aussi bien que des roches d'attaque moins facile. Ce banc dolomitique épouse tous les reliefs superficiels des couches supérieures du Black reef ; on n'y a pas encore trouvé de fossiles, mais il me semble que cela provient simplement de ce qu'il n'a pas été fouillé d'une manière appréciable ; car, au moment de la formation de cette dolomite, les eaux d'où elle était précipitée ne devaient point s'opposer à l'existence d'êtres organisés de grande taille.

Nous nous empressons d'ajouter au sujet de ce banc dolomitique que, pendant qu'il se formait lui-même, les eaux pouvaient encore être plus ou moins chargées d'or en dissolution, bien que leur acidité première se fût trop fortement atténuée pour s'opposer à la précipitation des carbonates de chaux et de magnésie; et, en effet, il y aurait eu, d'après ce que nous allons dire, des dépôts d'or précipité en même temps que la dolomite et des alternances de dépôts de dolomite et de conglomérats.

Pendant un séjour de deux mois que M. P. Garnier fit dans le district de Klerksdorp (mars et avril 1895), à 120 *km* environ au sud-ouest de Johannesburg, le directeur de la mine de « Klerksdorp Gold and Diamond C° », lui fit constater que la dolomite formait des bancs alternant avec des conglomérats.

C'est là un fait qui n'a pas encore été signalé le long du Witwatersrand, mais que nous avons trouvé sur une bien plus vaste échelle dans le district aurifère de « Lydenburg », au nord-est du Transvaal et à 200 *km* de Johannesburg; ici les bancs dolomitiques sont nombreux, alternant avec des bancs de schistes, grès et quartzites aurifères; bien plus, ces dolomites sont aurifères elles-mêmes. L'horizontalité des couches du Lydenburg, qui se poursuit sur de très grandes longueurs, la finesse des grains constituant les grès et schistes de cette formation, indiquent nettement que ce sont là des dépôts de *haute mer*, c'est-à-dire assez loin des embouchures des cours d'eau (*fig. 15*). Des sondages plus ou moins éloignés de Johannesburg, au sud, feraient sans doute découvrir des dépôts analogues à ceux du Lydenburg ; on a trouvé pourtant aussi dans ce district des conglomérats aurifères exploitables, mais nous n'avons pu les visiter; leur étude sera pourtant très intéressante pour marquer encore un emplacement de rivage des anciennes masses d'eau aujourd'hui partout comblées.

Fig 15



1,2,3,4 : Couches de quartz aurifère compris entre schistes et grès

Coupe idéale, district de Lydenburg, montrant la coupe des terrains du Nord au Sud depuis Pilgrim's Rest jusqu'auprès de Lydenburh

Mais le « Lydenburg » offre encore une particularité que nous ne saurions passer sous silence : on y trouve des quartzites aurifères, en bancs stratifiés nettement, dans des grès qui sont eux-mêmes aurifères, et cet ensemble peut se suivre sur des dis-

tances considérables; or, la roche de ces quartzites est identique à celle des filons; le quartz y est même souvent hyalin, cristallisé et compact; ces quartzites ne seraient donc qu'un dépôt précipité de silice gélatineuse, durcie par le temps et la compression et provenant de la décomposition de silicates dont les éléments basiques se sont dissous. Nous avons eu plusieurs fois l'occasion de constater cette séparation naturelle de la silice de ses bases, et nous avons signalé le fait au sujet de la Nouvelle-Calédonie, où il est fréquent; mais au Lydenburg ce phénomène semble s'être exercé sur une vaste échelle. Je pense depuis longtemps que dans la formation des filons aurifères on a attribué trop d'importance aux actions ignées et les dépôts du Lydenburg me donnent raison. D'ailleurs, aujourd'hui, beaucoup de géologues, (sauf dans le cas, bien entendu, où l'or est accompagné, comme à Cripple Creek, en Amérique, de tellure qui le rend volatil et lui consacre une origine ignée), en arrivent à considérer les filons comme des dépôts par voie chimique, et l'on a pu, dans ces derniers temps, reproduire artificiellement des quartz aurifères (1).

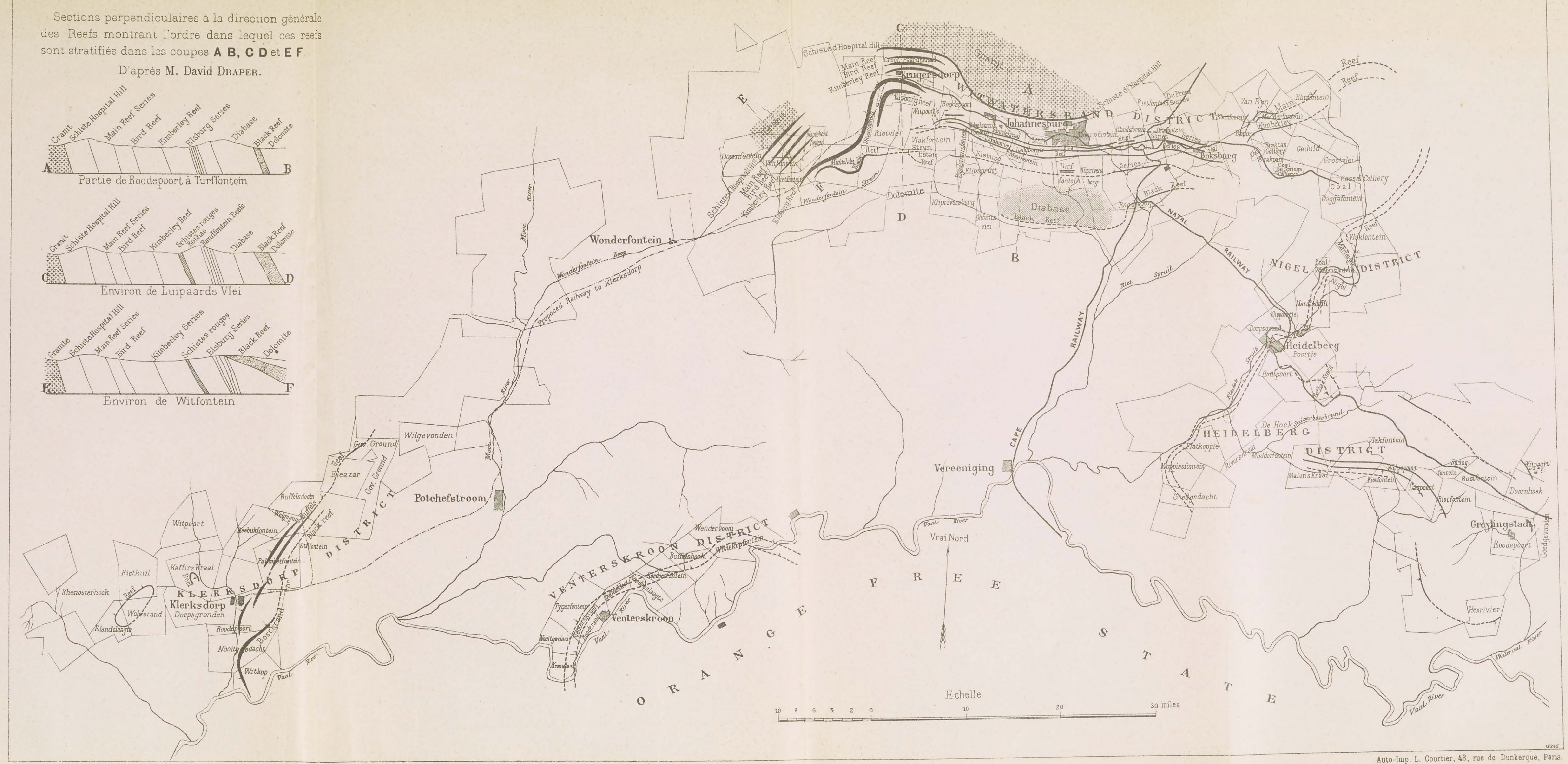
En résumé, l'opinion que nous avons essayé de faire prévaloir depuis l'année 1891, à savoir que les gaz émis par les substances organisées déposées au sein des eaux précipitaient l'or et les métaux associés de leurs solutions naturelles, se trouve tout à fait applicable aux mines d'or du Sud de l'Afrique, et cette opinion commence à être de plus en plus partagée par les géologues. J'ajouterai que ce fait est loin d'être cantonné à l'Afrique du Sud, nous avons déjà en mains de nombreux documents ou spécimens de roches qui nous permettraient d'établir que l'on retrouve la même cause produisant les mêmes effets, notamment en Australie, en Californie et en Sibérie. La deuxième opinion que nous avons émise dans le cours de cette étude, consiste à établir que chaque fois qu'un ancien bassin, lac ou mer profonde, s'est peu à peu comblé par les apports d'un cours d'eau rapide, une nappe épaisse de matières vaseuses mélangées à des détritus organiques couvrait le fond sur lequel reposaient directement les eaux, bien en avant des points où les matières minérales plus volumineuses s'étalaient en couches successives plus ou moins inclinées sur l'horizon. Cette couche vaseuse, refoulée plus tard en avant par le poids des couches minérales formant des estuaires à marche

(1) M. J. C. F. Johnson a exposé à l'Institut Géologique Impérial (Australie), des quartz aurifères artificiels à la fin de 1895 (*Australian Mail* 1896 — 20 février). M. E. Cumenge a présenté des quartz aurifères artificiels à l'Académie des Sciences (10 février 1896).

en avant lente, mais continue, était parfois partiellement emprisonnée sous leur masse pour se relever ensuite au travers des couches, pénétrant leurs failles, s'infiltrant entre elles, alors qu'elles n'étaient pas encore durcies, en un mot devenant un agent de dislocation et une matière de remplissage des fentes ou des interstices : comme ces vases plastiques prenaient par la compression une grande cohésion, elles peuvent aujourd'hui être confondues aisément avec certaines roches éruptives amorphes. Les faits que nous avons signalés dans les mines de diamant et dans la Mine du Champ-d'Or, ne sont certainement pas isolés; en tous cas ils sont probants, et nous espérons que les géologues qui étudient aujourd'hui avec tant d'ardeur la stratigraphie du Transvaal seront à même d'élucider peu à peu cette théorie; malgré, je suis le premier à le reconnaître, ce qu'elle a d'osé en ce qui concerne surtout la genèse que j'attribue au diamant : il répugnera même *à priori* à certains esprits de penser que la plus belle et la plus recherchée de nos pierres précieuses aurait une origine aussi vulgaire. Je ne voudrais pas terminer sans indiquer le rôle considérable que jouent et ont joué jusqu'ici au Transvaal les gens de notre profession, et si les capitalistes leur ont fourni le moyen d'agir, il n'en est pas moins vrai qu'ils se sont trouvés à la hauteur de leur tâche. Il est seulement à désirer que les ingénieurs français prennent un peu plus d'importance au Transvaal, à la fois par leur nombre et par l'importance des fonctions qui leur seraient confiées; il est vraiment bizarre que la nation qui a envoyé le plus de capitaux au Transvaal soit celle qui y soit le moins représentée comme classe dirigeante, et notre but sera atteint si cette étude peut contribuer à modifier cet état de chose. On pourra reprocher à ce travail d'être trop théorique, mais il nous a semblé que ce genre d'études est précisément le plus élevé de ceux qui incombent à l'ingénieur, qu'il établit bien la différence entre nous et nos subordonnés, et que c'est seulement par de telles recherches que l'on peut prévoir et assurer l'avenir des grandioses entreprises industrielles qui sont solidaires des riches gisements miniers que nous avons eu l'honneur de considérer ici.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 8930-5-96. — (Encre Lorilleux).

CARTE DES AFFLEUREMENTS AURIFÈRES AU SUD DU TRANSVAAL D'APRÈS LES ÉTUDES LES PLUS RÉCENTES



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris